

池塘养殖斑节对虾的生长、发育与性成熟

黄建华, 杨其彬, 马之明, 陈旭, 周发林, 温为庚, 江世贵*

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东省渔业生态环境重点实验室,
农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 为了解不同养殖条件下斑节对虾的生长、外生殖器发育、性腺发育及性成熟之间的关系, 对其养殖进行跟踪调查研究。结果显示: ①斑节对虾雌雄外生殖器发育和头胸甲长呈线性关系; ②不同养殖环境条件下, 斑节对虾性成熟生物学最小型个体无显著差异。雄性精英出现的生物学最小型个体为头胸甲长 3.1 cm, 体长 11.1 cm, 体质量 20.0 g; 雄性性成熟个体的头胸甲长 3.7 cm, 体长 13.0 cm, 体质量 37.0 g。池养雌性斑节对虾的性成熟生物学最小型个体以纳精囊的发育完全(可与雄虾交配)为标志, 其最小性成熟个体的头胸甲长 4.3 cm、体长 15.1 cm、体质量 53.0 g, 雌性性成熟个体为头胸甲长 5.0 cm, 体长 17.0 cm, 体质量 75.0 g 以上; ③池塘养殖斑节对虾性成熟与日龄和养殖环境相关。鱼塭雄虾精英出现的最早时间为日龄 120 d 前后, 其性成熟日龄约为 160 d; 池塘养殖雄虾精英出现的最早时间为日龄 150 d 前后, 其性成熟日龄约为 260 d。鱼塭雌虾最早交配发生在日龄 165 d 前后, 性成熟日龄 205 ~ 236 d, 池养雌虾最早交配发生在日龄 240 ~ 280 d, 性成熟日龄 295 ~ 360 d 以上。

关键词: 池养斑节对虾; 生长; 发育; 性成熟; 年龄

中图分类号: S 968.22

文献标志码: A

斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 是养殖对虾类型中体形最大, 具有重要经济价值的一种对虾。但是, 未经选育的斑节对虾生长率低, 对疾病易感, 生产效益不佳, 因此, 其养殖逐渐被经过选育的、具有生长快速、无特定病原体的凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*) 改良品系所代替^[1]。由于经选育的凡纳滨对虾比斑节对虾抗逆能力强, 适应高密度养殖而兼具高产性能, 养殖经济效益高于斑节对虾, 现成为我国和世界占绝对优势的养殖对虾品种。传统的养殖斑节对虾受野生亲虾资源日益枯竭, 野生亲虾和苗种携带病毒比例极高^[2], 养殖成本及风险增加等影响, 其养殖面积显著下降。因此, 发展无特定病原的斑节对虾全人工繁育技术, 并通过对其人工选育改良, 获得具有快速生长和抗逆能力的斑节对虾优良品种, 采用经选育的高健康种虾完全取代捕捞天然种虾生

产苗种, 才是恢复和发展斑节对虾养殖产业的根本。了解斑节对虾人工养殖条件下的繁殖生物学特性, 可为其全人工亲虾培育和品种选育提供基础理论。

已有的对虾繁殖和发育生物学知识为世界对虾养殖产业发展提供了科学技术基础^[3-5]。杨丛海^[5]总结了我国明对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 的繁殖发育生物学中的性别分化、内分泌、受精生物学、幼体发育等研究成果。斑节对虾的全人工繁殖早在上世纪七十年代就获得了成功^[6], 但随后的研究表明, 人工养殖的斑节对虾性成熟和繁殖十分困难, 亲虾成熟率、产卵和孵化率低, 难以像凡纳滨对虾一样满足商业化苗种生产需求^[7-9]。过去涉及池塘养殖条件下斑节对虾生长发育、外生殖器发育及生殖系统发育与性成熟的相关报道较少。Eldred^[10]和 Tuma^[11]分

收稿日期: 2012-05-25 修回日期: 2012-12-05

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A409-02); 广东省海洋渔业科技推广专项(A201101B03, A201201C01); 广东省科技计划项目(2006A20204001)

通信作者: 江世贵, E-mail: jiangsg@21cn.com

别描述了桃红对虾 (*Penaeus duorarum*) 和墨吉对虾 (*Penaeus merguensis*) 雌雄外生殖器的发育和功能。Motoh 等^[12]报道了斑节对虾的大小和纳精囊及雄性交尾器存在线性关系,还有一些研究认为,对虾外生殖器的形态、发育和功能,交接器发育和再生与性腺发育密切相关,纳精囊的发育和卵巢发育密切相关^[13-16],池塘养殖对虾生长、发育、性成熟及个体大小和年龄对性成熟与繁殖性能显著影响^[17-21]。

本实验通过对池塘和鱼塢养殖条件下,斑节对虾生长发育、外生殖器发育、性腺发育及成熟的生物学连续调查,较为全面的分析了养殖条件下,斑节对虾生长发育、外生殖器发育、性腺发育及成熟之间的关系,为斑节对虾全人工繁殖技术提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

斑节对虾苗种分别放养在湛江恒兴对虾养殖基地高位池塘 (0.6 hm²)、阳江的鱼塢 (400 hm²)、三亚红沙养殖池塘 (0.3 hm²)、南海水产研究所三亚安游基地家系养殖池 (0.012 hm²), 鱼塢养殖密度在 3~5 尾/m², 池塘养殖密度在 15~20 尾/m², 养殖管理参照对虾养殖管理规范。对虾日龄以产卵日期为 0 日龄^[22]。从人工培育的苗种放到室外养殖后,每 20~40 天利用抛网或虾笼捕获养殖虾,对其头胸甲长 (CL)、体长 (BL)、体质量 (BW)、雌虾纳精囊宽 (TW) 与雄虾交尾器长 (PTL) 等进行生物学测定,分别用普通标尺 (精确 1.00 mm) 和电子分析天平 (精确度 0.01 g) 测量并记录虾的体长、体质量并区分性别。其中,共测量雄虾 784 尾,雌虾 716 尾。并对其外生殖器的变化、精荚的发生、精荚精子数量、雌虾交尾情况等观察或测定。

1.2 组织学方法

在不同生长阶段分别取 5 尾雌、雄斑节对虾对其进行解剖,迅速取出雌性和雄性生殖系统,切成小块,用 Davison's 固定液固定,常规石蜡包埋、切片,切片厚约 6 μm。进行常规的 H. E 染色。

1.3 雄虾发育指标、精子数量及质量评估方法

雄虾发育通过雄性交尾器的变化来衡量,采

用雄虾交尾器指数确定。

$$\text{交尾器指数} = \text{交尾器长} / \text{头胸甲长} \times 100^{[14]}$$

解剖前,先测定雄虾的体长、头胸甲长、体质量。在虾的头胸部与腹部连接处,用解剖刀或手术剪切开,将虾的腹部与头胸甲分开,头胸甲腹部朝上,用剪刀沿肝胰脏下方,从鳃丝侧面剪开,用镊子将肝胰腺轻轻移去,可见到雄虾生殖系统,用镊子将精荚从精囊 (壶状部) 挤出,称量精荚的质量 (精确到 0.000 1 g)。

根据 Leung-Trujillo 等^[23]的描述方法略加修改,对雄虾精子数量测定:取其中一精荚称量后放入玻璃匀浆器,加 1 mL 用过滤海水配制的钙离子溶液,捣碎精荚,定量至 10 mL,用过滤海水配制的钙离子溶液稀释 10~100 倍,摇匀后吸取少量精液用医用血球计数板计数,在 250 倍显微镜下计数任意 3 个大格 (16 小格) 精子的数量,取其平均值。可得出 1 mL 的精子数量。精荚所含精子的总数用下式计算:

$$\text{精子总数} = 10 \text{ mL} \times \text{平均值} \times 10\,000 \times \text{稀释倍数}$$

2 结果

2.1 斑节对虾外生殖器与头胸甲长的关系

测定池塘养殖斑节对虾的头胸甲长、体长、体质量、雄虾交尾器长和雌虾纳精囊宽,将相近头胸甲长的对虾数据进行处理,求得其头胸甲长、雄虾交尾器长和雌虾纳精囊宽平均值,进行线性回归分析,结果表明,斑节对虾雄虾交尾器长和雌虾纳精囊宽均与头胸甲长呈线性关系 (图 1, 图 2)。

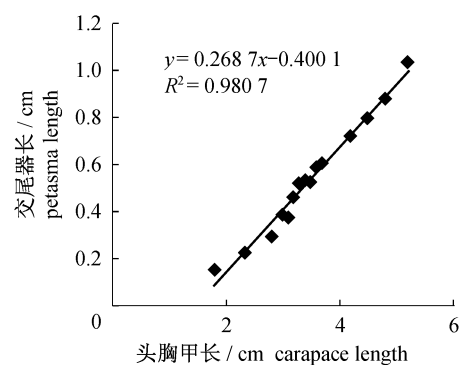


图 1 斑节对虾雄虾交尾器长与头胸甲长关系

Fig. 1 The carapace length was linearly correlated to the petasma length of male *P. monodon*

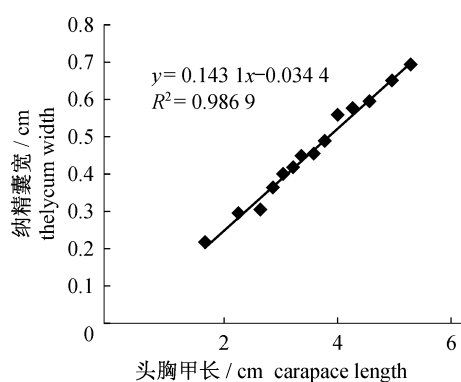


图2 斑节对虾雌虾纳精囊宽与头胸甲长关系
Fig.2 The carapace length was linearly correlated to the thelycum width of female *P. monodon*

雄: $y = 0.2687CL - 0.4001$ ($R^2 = 0.9807$, $P < 0.001$)

雌: $y = 0.1431CL - 0.0344$ ($R^2 = 0.9869$, $P < 0.001$)

2.2 斑节对虾外生殖器发育

雄性交接器发育及精巢发育与成熟 池塘养殖雄虾日龄与头胸甲长、交尾器长、交尾器指数和交尾器发育分期的关系见表1。

日龄 103 d, 雄虾头胸甲长 1.8 ~ 2.5 cm, 雄性第一腹肢的内肢(交尾器)成肉芽状(图版-1), 其长度 0.15 ~ 0.25 cm, 平均为 (0.21 ± 0.03) cm, 没有连接, 交尾器指数 11.04 ± 2.43 , 处于发育 I 期。此时的精巢肉眼难辨, 难以和其它组织分离, 精荚尚未形成。

表1 池塘养殖雄虾日龄、头胸甲长、交尾器长、交尾器指数和交尾器发育分期的关系
Tab.1 The relationships among day age, CL (carapace length), PTL (petasma length), MPI (mean petasma index) and developmental stages of petasma in cultured male *P. monodon*

日龄 day	头胸甲长/cm CL	交尾器长/cm PTL	交尾器指数 MPI	精荚质量/mg spermatophore weight	精子数量 ($\times 10^6$) sperm count	交尾器发育期 stages of petasma
103	1.94 ± 0.28	0.21 ± 0.03	11.04 ± 2.43	0	0	I
148	2.98 ± 0.32	0.45 ± 0.02	15.10 ± 2.65	0	0	I
189	3.32 ± 0.21	0.55 ± 0.05	16.57 ± 3.06	8.7 ± 2.25	2.8 ± 1.56	II
227	3.46 ± 0.19	0.63 ± 0.07	18.21 ± 1.63	10.3 ± 3.01	5.2 ± 2.61	II
257	3.51 ± 0.35	0.65 ± 0.04	18.52 ± 2.27	13.5 ± 2.71	11.6 ± 2.93	II
	3.75 ± 0.33	0.76 ± 0.03	20.27 ± 1.90	17.8 ± 2.52	14.6 ± 4.20	III
292	3.99 ± 0.24	0.82 ± 0.06	20.55 ± 2.01	20.3 ± 3.18	23.4 ± 6.06	III
363	4.47 ± 0.30	0.95 ± 0.03	21.23 ± 1.85	25.1 ± 4.20	29.4 ± 5.11	III

日龄 100 ~ 148 d, 雄虾头胸甲长 2.5 ~ 3.2 cm, 雄性交尾器长度 0.3 ~ 0.5 cm, 交尾器指数 15.10 ± 2.65 , 交尾器开始变宽, 其顶部形成一定的弧线, 并开始向内卷曲, 仍未连接(图版-2)。此时精巢肉眼可以辨认, 可将其分离。头胸甲长在 2.8 cm 以上的部分雄性个体, 可以见到精囊的雏形, 其内部尚未形成精荚。组织切片可观察到精巢小叶中的生精小管内的生殖细胞主要是精原细胞和初级精母细胞(图版-16)。

日龄 148 ~ 227 d, 雄虾头胸甲长 3.0 ~ 3.5 cm, 雄性交尾器长度 0.5 ~ 0.65 cm, 交尾器指数小于 20, 处于发育 II 期。交尾器变得更宽, 两内肢中间部位开始愈合, 其顶部向内卷曲成钩状, 在外力下雄交尾器愈合部位容易被分开(图版-3、

4)。雄性生殖系统发育完全, 精囊开始胀大, 部分雄虾可观察到第五步足基部乳白色的精囊, 精囊内精荚形成, 解剖后, 可从精囊内挤出白色半透明的精荚。此时精荚仍未成熟, 质量约 6 ~ 13 mg, 精荚精子数量范围 0 ~ 10×10^6 , 正常精子比例低。组织切片可观察到精巢小叶中的生精小管内的生殖细胞主要是初级精母细胞、次级精母细胞和少数精子细胞(图版-15)。

日龄 257 d 以上, 雄虾头胸甲长 3.5 ~ 4.5 cm, 雄性交尾器长度 0.6 ~ 0.8 cm。头胸甲长在 3.7 cm 以上的雄性个体, 交尾器指数大于 20。雄性生殖系统发育完全, 在外力下, 雄交尾器愈合部位也不易分开(图版-5、6)。精囊开始胀大, 其内精荚饱满, 质量大于 15 mg, 精荚精子数量 $10 \times$

10^6 以上,正常精子比例提高。组织切片可观察到精巢小叶中的生精小管内的生殖细胞主要是次级精母细胞和大多数精子细胞(图版-14)。

头胸甲长在4.5 cm以上雄虾个体,交尾器长度大于0.7 cm,交尾器指数大于20。在外力下,交尾器愈合部位也难以分开。大多数雄性斑节对虾可观察到第五步足基部乳白色的精囊,精囊内精荚饱满、透明,易破裂而流出精子,精荚质量大于20 mg,精子数量 20×10^6 以上,正常精子比例明显提高。组织切片可观察到精巢小叶中的生精小管内的生殖细胞主要是精子细胞。精荚的组织切片显示其内部充满成熟的精子和分泌的粘液物质(图版-13)。

雌性斑节对虾纳精囊的发育 日龄60~70 d,头胸甲长1.8 cm以下(体质量小于4.0 g),外观肉眼难以分辨雌雄,也难以把卵巢和其它组织分离。

日龄70~100 d,雌虾头胸甲长1.8~3.0 cm,纳精囊呈V字形,两侧盘状分开较宽(图版-7),纳精囊宽度在0.4 cm以下。纳精囊呈现中空且不能接受精荚,表明不会发生交配。

日龄100~150 d,雌虾头胸甲长3.0~3.6 cm,雌虾纳精囊的侧面盘状变宽并且侧面的边缘和中间部分开始重叠(图版-8),纳精囊宽度0.35~0.45 cm。雌虾卵巢组织可以分离,卵巢发育处于I期。

日龄150~250 d,雌虾头胸甲长3.6~4.2 cm,纳精囊侧面的边缘发育和中间部分或完全重叠(图版-9、10),纳精囊宽0.45~0.65 cm。大个体雌虾的纳精囊发育完整。绝大部分雌虾卵巢发育仍处于I期。少数雌虾在切除眼柄和营养强化培育下,卵巢可以发育成熟至IV~V期,只有极少数个体能产卵,卵粒没有受精不能孵化,表明雌虾的纳精囊仍未发育完全。

日龄200~300 d,雌虾头胸甲长4.2~4.5 cm,雌虾纳精囊的侧面盘状变厚并且侧面和中线相互交叉,两侧部分形成一个较高的边缘。雌虾头胸甲长4.5 cm以上,纳精囊宽度在0.6 cm以上,雌虾的纳精囊发育完好并可以接受和封闭精荚(图版-11、12)。此时,可以观察到少数雌虾有交尾受精。雌虾头胸甲长5.0 cm以上,雌虾的交尾率显著提高,雌虾在切除眼柄和营养强化培育

下,大多数雌虾的卵巢可以发育成熟至IV~V期,雌虾产出的受精卵能孵化。

2.3 不同养殖环境条件下斑节对虾发育与性成熟

不同养殖环境下斑节对虾性成熟的最小生物学 对放养在4种不同养殖环境下的斑节对虾生长规律及性成熟的最小生物学跟踪调查发现,不同养殖环境下,雄性斑节对虾精荚出现和雌性斑节对虾最早发现交配(纳精囊出现精荚)的生物学最小型基本一致。雄性斑节对虾最早出现精荚的个体约为头胸甲长(3.1±0.1) cm,体长(11.1±0.3) cm,体质量(19.3±2.7) g。雌性斑节对虾最早发现交配(纳精囊出现精荚)的个体约为头胸甲长(4.5±0.2) cm,体长(15.3±0.4) cm,体质量(53.3±2.6) g(表2)。从表2可看出,不同养殖环境下,雄性斑节对虾最早出现精荚和雌性斑节对虾最早发生交配的时间差异显著。阳江鱼塭雄虾最早出现精荚日龄为121 d前后,雌虾最早发生交配的日龄为166 d前后。三亚安游水泥池雄虾最早出现精荚日龄为176 d前后,雌虾最早发生交配日龄为280 d前后。

不同养殖环境下斑节对虾性成熟与时间的关系 随着斑节对虾日龄增长,4种不同养殖环境条件下,斑节对虾雄虾精荚中正常精子百分数、雄虾精荚出现率(成熟率)及雌虾交配率呈上升趋势(图3)。不同养殖环境条件下,斑节对虾性成熟时间,雄虾的正常精子百分数、精荚出现率和雌虾交配率均不一致。鱼塭养殖环境条件下,斑节对虾性成熟时间明显要早于池塘养殖虾的成熟时间,安游水泥池养殖条件下的斑节对虾性成熟时间最晚。日龄175 d的阳江鱼塭雌虾大部分达到其性成熟最小规格,雄虾80%精荚饱满且已经成熟,但雌虾交配率只有9.38%,日龄236 d阳江鱼塭雌虾的交配率则达到68.1%。日龄242 d的红沙池塘养殖雌虾观察到纳精囊出现精荚,雄虾精荚出现率为38.6%,雌虾的交配率3.3%。湛江池塘养殖雌虾观察到纳精囊出现精荚的日龄为258 d,雄虾精荚出现率为84.0%,雌虾的交配率4.6%。安游水泥池养殖雌虾观察到纳精囊出现精荚的日龄为291 d,雄虾精荚出现率为35.7%,雌虾的交配率1.8%。

表 2 不同养殖环境下斑节对虾性成熟生物学最小型
 Tab.2 The carapace length, body length and body weight of the primary sexual maturity for *P. monodon* in different cultured conditions

养殖地点 culture condition	性别 sex	日龄/d day	头胸甲长/cm carapace length	体长/cm body length	体质量/g body weight	性成熟比率/% sex maturity percent
湛江高位池 pond of Zhanjiang 2004	♂	160 ± 8	3.2 ± 0.1	11.8 ± 0.3	24.2 ± 2.6	6.1 ± 0.7
	♀	260 ± 12	4.7 ± 0.3	15.9 ± 0.5	59.2 ± 6.6	3.1 ± 0.4
阳江鱼塢 tidal pond of Yangjiang 2004 2005	♂	127 ± 3.4	3.3 ± 0.2	12.4 ± 0.3	27.4 ± 1.7	6.5 ± 1.2
	♀	166 ± 5.1	4.5 ± 0.1	15.8 ± 0.2	60.8 ± 2.6	9.4 ± 1.0
	♂	121 ± 2.3	3.1 ± 0.3	12.2 ± 0.3	25.3 ± 2.5	7.2 ± 0.8
	♀	170 ± 6.1	4.7 ± 0.1	16.3 ± 0.5	64.2 ± 3.1	8.1 ± 0.6
红沙池塘 pond of Hongsha 2006 2007	♂	152 ± 3.4	3.2 ± 0.1	11.5 ± 0.3	21.6 ± 1.7	4.2 ± 0.3
	♀	240 ± 6.1	4.5 ± 0.1	15.5 ± 0.2	59.8 ± 4.6	5.1 ± 0.4
	♂	148 ± 4.0	3.1 ± 0.1	11.3 ± 0.4	20.9 ± 2.4	5.1 ± 0.6
	♀	270 ± 6.1	4.6 ± 0.2	15.3 ± 0.4	54.2 ± 2.1	7.1 ± 0.4
安游水泥池 tank of Anyou 2006 2007	♂	165 ± 6.4	3.0 ± 0.2	11.3 ± 0.4	19.3 ± 2.7	2.2 ± 0.3
	♀	274 ± 10.5	4.4 ± 0.2	15.1 ± 0.5	53.3 ± 2.6	5.2 ± 0.6
	♂	176 ± 7.1	3.1 ± 0.1	11.1 ± 0.3	19.9 ± 1.7	3.2 ± 0.3
	♀	280 ± 9.3	4.5 ± 0.1	15.5 ± 0.3	54.8 ± 3.3	4.1 ± 0.7

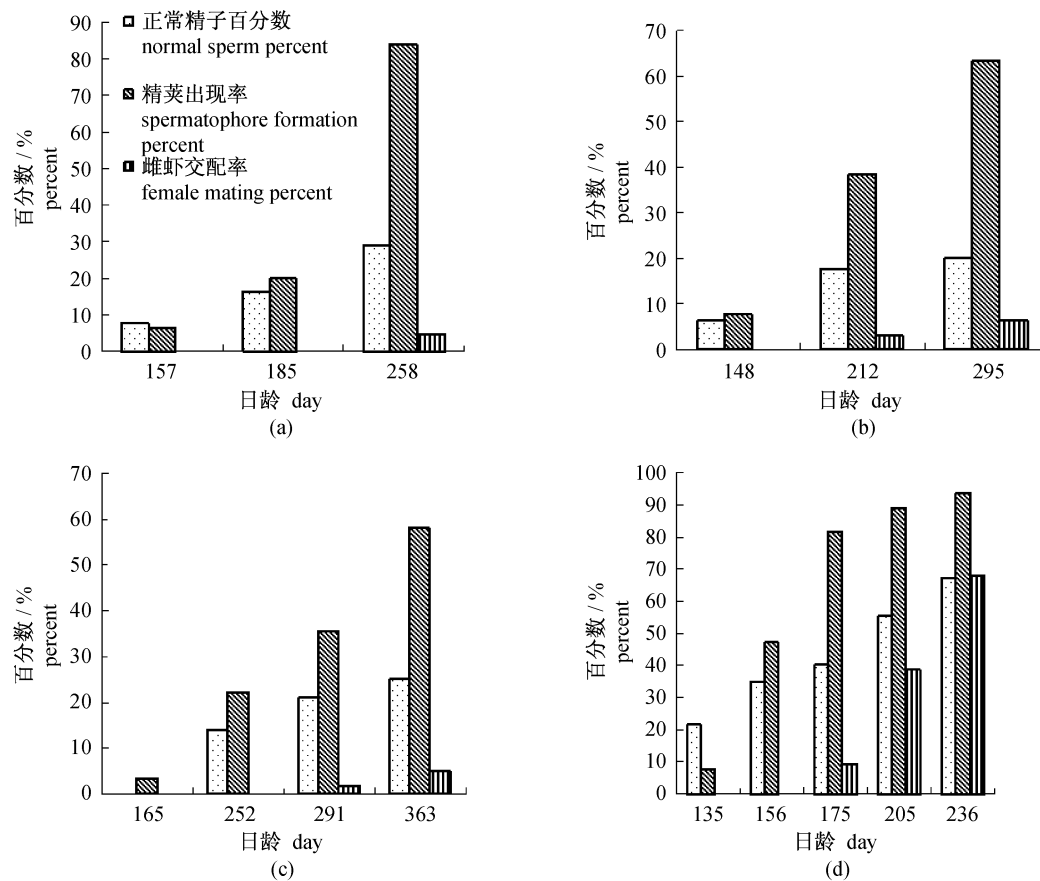


图 3 不同养殖环境条件下的日龄与斑节对虾发育和性成熟的关系

(a) 湛江高位池; (b) 红沙高位池; (c) 安游水泥池; (d) 阳江鱼塢。

Fig.3 Development and sexual maturity of *P. monodon* in relation to day age under different cultured conditions

(a) Pond of Zhanjiang; (b) Pond of Hongsha; (c) Tank of Anyou; (d) Tidal pond of Yangjiang.

3 讨论

实验发现,斑节对虾头胸甲长与外生殖器长或宽呈线性关系,表明外生殖器发育和生长发育密切相关。伴随斑节对虾的生长发育,外生殖器发育逐渐发育完善,精巢和卵巢组织也随之发育。雄虾精荚的产生和雌雄虾交配行为的发生,显示外生殖器与性腺发育紧密联系。相同的结果也见于其它虾类。Hong^[16]认为雄虾交尾器的作用是将雄虾生殖孔排出的精荚运送到雌虾纳精囊。Lin等^[14]通过实验证实,对虾雄性交尾器在交配过程中起到传送精荚的作用。这些研究表明,雄虾交尾器发育完好是雄虾发育成熟的外观标志。对虾雌虾闭合式纳精囊是交尾后雄虾精荚贮存的地方,其从完全开放的“V”型,随着对虾生长发育至完全闭合,可接受和贮存精荚。因此,雌虾纳精囊结构发育完好可作为雌虾发育成熟的外观标志。

本研究发现,雄虾交尾器与性腺发育成熟密切相关。雄性斑节对虾交尾器长度小于0.4 cm,处于I期,交尾器分离,交尾器指数小于15,雄虾的精巢组织难以与周围组织分离,雄虾精荚尚未形成。处于发育II期的雄性交尾器长度约0.5~0.65 cm,交尾器变得更宽,两内肢中间部位开始愈合,结构趋于完善,雄虾精囊中出现精荚的雏形,精荚开始生成,此阶段可作为雄性斑节对虾性成熟最小生物学阶段。雄虾交尾器长度大于0.7 cm,交尾器指数大于20,雄虾精巢组织的生精小管充满不同发育阶段的精细胞,大部分雄虾精囊中具饱满的精荚,精子数量和质量明显提高,雄虾可与雌虾发生交尾。本实验观察到池塘养殖雄性斑节对虾外生殖器发育和性成熟个体与Lin等^[14]研究结果相近,而明显小于Motoh^[15]报道的野生斑节对虾。Motoh^[15]根据雄性斑节对虾交尾器的形态将其划分为6个时期,头胸甲长3.4 cm的野生雄性斑节对虾交尾器处于II期,头胸甲长4.7 cm的野生雄性斑节对虾交尾器处于III期。Quinitio等^[13]研究发现,斑节对虾的纳精囊在雌虾头胸甲长3.45~4.20 cm时其结构被认为完全发育,第一次交配的迹象被观察到。Motoh等^[12]则认为,头胸甲长4.7 cm以上的斑节对虾雌虾的纳精囊结构才完全发育。本研究发现,池塘养殖和鱼塢养殖雌性斑节对虾,在头胸甲长4.5 cm左

右,可观察到交配的发生,可判断纳精囊结构发育完善,但此时雌虾的交配率非常低。

已有研究表明,年龄和个体大小会影响对虾性成熟及繁殖性能。年龄和大小会显著影响池塘养殖墨吉对虾雌虾的产卵表现^[21]。池塘养殖斑节对虾^[24-26]、野生短沟对虾(*Penaeus semisulcatus*)^[27-28]和圣保罗对虾(*Penaeus paulensis*)^[29]也有类似现象。年龄和大小也显著影响斑节对虾^[26]、细角对虾(*Penaeus stylirostris*)^[17]、凡纳滨对虾^[20]精子的数量和质量。本研究发现,4种不同养殖环境条件下,斑节对虾性成熟的生物学最小型没有差异,但性成熟日龄存在明显差异;随着年龄和个体大小增长,不同养殖环境条件下,斑节对虾雄虾精荚的正常精子百分数、雄虾精荚出现率(成熟率)及雌虾交配率呈上升趋势,结果表明,斑节对虾性成熟与日龄和大小密切相关。黄建华等^[30]对池塘养殖斑节对虾的生长特性研究表明,雄虾体质量的生长拐点出现在144.5 d左右,雌虾体质量的生长拐点出现在195.3 d左右。这表明斑节对虾雌雄生长差异和生长拐点出现可能是其性成熟的标志。研究发现雌虾个体在头胸甲长5.0 cm、体长17.5 cm、体质量80 g以上时,交配率明显较高。虽然在实验中也观察到头胸甲长4.3 cm、体长14.5 cm、体质量45 g左右(甚至更小个体,最小体质量为33 g)的池塘养殖雌性斑节对虾卵巢发育,但很难完全成熟和产卵,且产出的卵没有受精。Quinitio等^[13]也发现较小个体的池养斑节对虾可以观察到卵巢发育和产卵,但产出的卵通常不能孵化。Aquacop^[6]发现50~80 g的斑节对虾可以诱导成熟并产卵。因此,雌性斑节对虾的性成熟生物学最小型,应以自然环境条件下雌虾可交配的最小个体,作为其性成熟生物学最小型,个体大小是斑节对虾性成熟的一个限制性因素。

Hoang等^[21]认为养殖条件(如密度、自然食物)及营养是影响对虾生长、存活、繁殖性能的关键因素。本研究发现4种不同养殖条件下,斑节对虾雄虾的精荚正常精子百分数、雄虾精荚出现率及雌虾交配率差异显著,也证实斑节对虾生长发育和环境密切相关,而其生长发育直接影响到外生殖器发育和性腺发育与成熟。在鱼塢环境条件下,由于较低的养殖密度和充足的天然饵料,为其生长发育和性成熟提供了营养保证,斑节对虾

个体生长速度最快,最先观察到雄虾精荚及雌虾交配的出现,精荚中精子数量和质量及雌虾交尾率要显著高于池塘养殖条件下的斑节对虾。

参考文献:

- [1] Wyban J. Domestication of pacific white shrimp revolutionizes aquaculture [J]. Global Aquaculture Advocate, 2007(4) :42 - 44.
- [2] 杨丽诗,黄建华,孙苗苗,等. 3 种来源的野生斑节对虾携带病毒情况调查 [J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(4) :546 - 552.
- [3] 陈楠生,李新正,刘恒,等(译). The biology of the penaeidae [M]. 青岛:青岛海洋大学出版社, 1992: 272 - 289.
- [4] Fast A W, Lester J. Marine shrimp culture: principles and practices [M]. Amsterdam: Elsevier, 1992: 93 - 170.
- [5] 杨丛海. 海水增养殖生物优良种质和抗病力的基础研究②对虾繁殖和发育生物学 [M]. 济南:山东科学技术出版社, 1999: 4 - 61.
- [6] Aquacop. Reproduction in captivity and growth of *Penaeus monodon* Fabricius in polynesia proceeding [J]. Journal of the World Mariculture Society, 1977, 8(1 - 4) :927 - 945.
- [7] Coman G J, Crocos P J, Arnold S J, et al. Growth, survival and reproductive performance of domesticated Australian stock of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon*, reared in tanks and raceways [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2005, 36(4) :464 - 479.
- [8] Coman G J, Arnold S J, Peixoto S, et al. Reproductive performance of reciprocally crossed wild-caught and tank reared *Penaeus monodon* broodstock [J]. Aquaculture, 2006, 252 (2 - 4) : 372 - 384.
- [9] Coman G J, Arnold S J, Callaghal T R, et al. Effect of two maturation diet combination on reproductive performance of domesticated *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 2007, 263(1 - 4) :75 - 83.
- [10] Eldred B. Observations on the structural development of the genitalia and the impregnation of the pink shrimp, *Penaeus duorarum* Burkenroad [J]. Bull Florida State Board Conserve (Tech. Ser.), 1958, 23:5 - 26.
- [11] Tuma D J. A description of the development of primary and secondary sexual characters in the banana prawn, *Penaeus mergueinsis* de Man (Crustacea: Decapoda: Penaeinae) [J]. Marine and Freshwater Research, 1967, 18(1) :73 - 88.
- [12] Motoh H, Buri P. Development of the external genitalia of the giant prawn, *Penaeus monodon* [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1980, 46(2) :149 - 155.
- [13] Quintio E T, Caballero R M, Gustilo L. Ovarian development in relation to changes in the external genitalia in captive *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 1993, 114(1 - 2) :71 - 81.
- [14] Lin M N, Ting YY, Hanyu I, et al. Development and regeneration of petasma with reference to gonadal development in Penaeid shrimp [J]. Journal of the Fisheries Society of Taiwan, 1991, 18 (2) : 145 - 154.
- [15] Motoh H. Studies on the fisheries biology of the giant tiger prawn, *Penaeus monodon* in the Phillipines. SEAFDEC [M]. Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, 1981, 128.
- [16] Hong T J. Studies on the maturation and spawning of *Penaeus japonicus* [D]. Tokyo: Agriculture Department, University of Tokyo, 1977: 164.
- [17] Alfaro J. Reproductive quality evaluation of male *Penaeus stylirostris* from a grow-out pond [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1993, 24 (1) :6 - 11.
- [18] Hoang T, Lee S Y, Keenan C P, et al. Observations on growth, sexual maturity and spawning performance of pond-reared *Penaeus merguiensis* [J]. Aquaculture Research, 2002, 33 (11) : 863 - 873.
- [19] Coman G J, Arnold S J, Jones M J, et al. Effect of rearing density no growth, survival and reproductive performance of domesticated *Penaeus monodon* [J]. Aquaculture, 2007, 264(1 - 4) :175 - 183.
- [20] Ceballos-Vazquez B P, Rosas C, Racotta I S. Sperm quality in relation to age and weight of white shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2003, 228 (1 - 4) :141 - 151.
- [21] Hoang T, Lee S Y, Keenan C P, et al. Effects of age, size, and light intensity on spawning performance of pond-reared *Penaeus merguiensis* [J]. Aquaculture, 2002, 212(1 - 4) :373 - 383.
- [22] 苏振明,王克行,张存义,等. 黄海增殖日本对虾的生长特性 [J]. 水产学报, 1996, 20(1) :25 - 29.
- [23] Leung-Trujillo J R, Lawrence A L. Observation on the decline in sperm quality of *Penaeus setiferus* under laboratory conditions [J]. Aquaculture, 1987,

- 65(3-4):363-370.
- [24] Menasveta P, Piyatiratitivorakul S, Rungsupha S, *et al.* Gonadal maturation and reproductive performance of giant tiger prawn (*Penaeus monodon* Fabricius) from the Andaman Sea and pond-reared sources in Thailand [J]. *Aquaculture* 1993, 116(2-3):191-198.
- [25] Menasveta P, Sangpradub S, Piyatiratitivorakul S, *et al.* Effect of broodstock size and source on ovarian maturation and spawning of *Penaeus monodon* Fabricius from the Gulf of Thailand [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1994, 25(1):41-49.
- [26] Jiang S G, Huang J H, Zhou F L, *et al.* Observations of reproductive development and maturation of male *Penaeus monodon* reared in tidal and earthen ponds [J]. *Aquaculture*, 2009, 292(1-2):121-128.
- [27] Crocos P J, Coman G J. Seasonal and age variability in the reproductive performance of *Penaeus semisulcatus* broodstock: optimising broodstock selection [J]. *Aquaculture*, 1997, 155(1-4):55-67.
- [28] Coman G J, Crocos P J. Effect of age on the consecutive spawning of ablated *Penaeus semisulcatus* broodstock [J]. *Aquaculture*, 2003, 219(1-4):445-456.
- [29] Cavalli R O, Scardua M P, Wasielesky W. Reproductive performance of different sized wild and pond-reared *Penaeus paulensis* females [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1997, 28(3):260-267.
- [30] 黄建华, 马之明, 周发林, 等. 池塘养殖斑节对虾的生长特性 [J]. *海洋水产研究*, 2006, 27(1):14-20.

The growth, development and sexual maturity of pond-reared *Penaeus monodon*

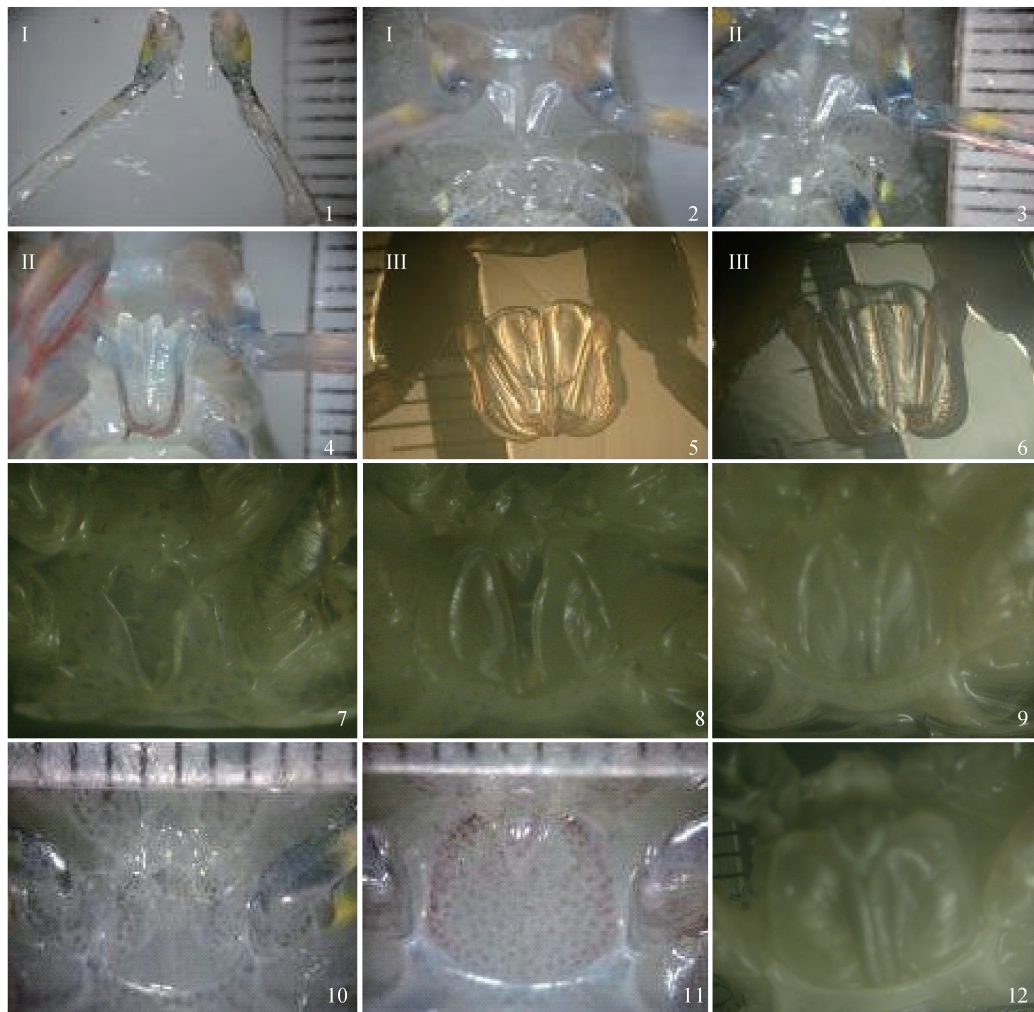
HUANG Jianhua, YANG Qibin, MA Ziming, CHEN Xu, ZHOU Falin, WEN Weigeng, JIANG Shigui*

(Key Laboratory of Fishery Ecology and Environment, Guangdong Province, Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: In attempt to understand the effects of rearing condition on the growth and development of the sexual characters, primary sexual maturity, and sexual maturity of pond-reared *Penaeus monodon*, a continuous investigation was conducted. The results indicated that the development of the external genitalia in *P. monodon* was linearly correlated to the carapace length of *P. monodon*. The minimal means of carapace length, body length and body weight at primary sexual maturity of pond-reared *P. monodon* were 3.1 cm, 11.1 cm, and 20.0 g (males) or 4.3 cm, 15.1 cm, and 53.0 g (females), respectively, and these values were not significantly affected by the rearing conditions ($P > 0.001$). The average carapace length, body length and body weight at sexual maturity of pond-reared *P. monodon* were 3.7 cm, 13.0 cm, and 37.0 g (males) and 5.0 cm, 17.0 cm, and 75.0 g (females), respectively. The sexual maturity was linearly correlated to the age of pond-reared *P. monodon*. The results indicated that the rearing conditions (e. g. density, natural food) were the key factors affecting the growth, development and sexual maturity of pond-reared *P. monodon*. The minimal age of *P. monodon* appearing spermatophore were 120 days when cultured in the tide pond, which was significantly earlier ($P < 0.001$) than those cultured in the earthen pond (150 days). The ages of sexual maturity in males were 160 days (tidal pond) and 260 days (earthen pond), respectively. Prawns started mating at 165 days in the tidal pond and at 240-280 days in the earthen pond, and the sexual maturity and spawning event occurred as early as about 205-236 days (tidal pond) or 295-360 days (earthen pond).

Key words: pond-reared *Penaeus monodon*; growth; development; sexual maturity; age

Corresponding author: JIANG Shigui. E-mail: jiangsg@21cn.com

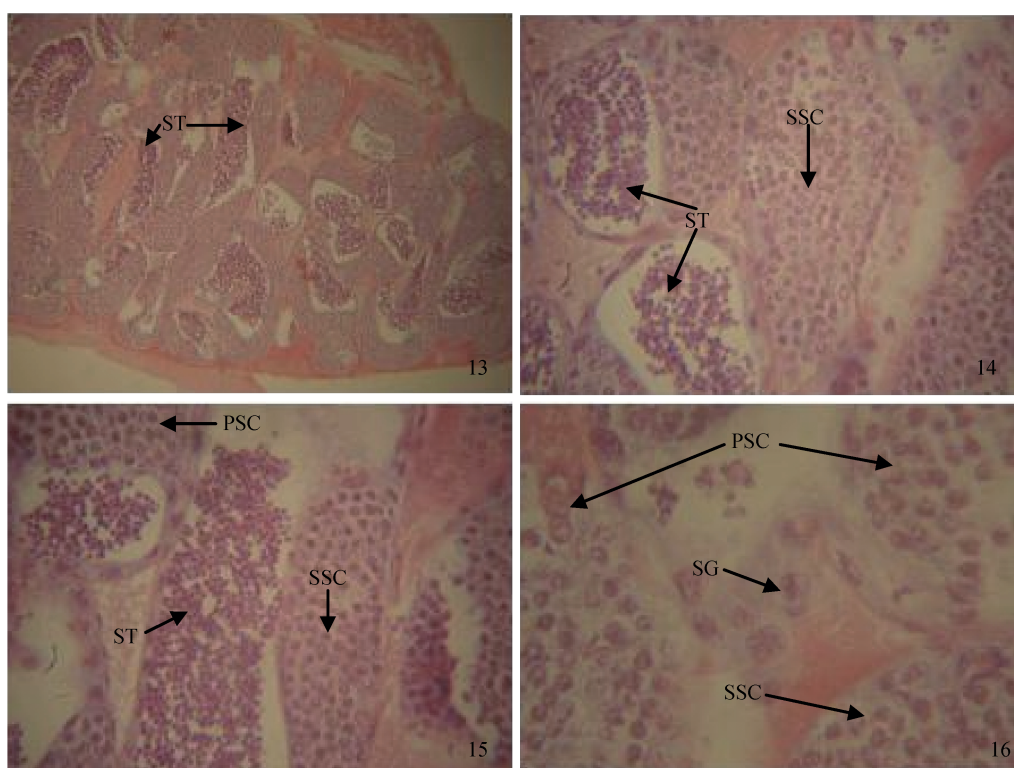


图版

1. 雄性交尾器 I 期:雄性第一腹肢的内肢(交尾器)成肉芽状; 2. 雄性交尾器 I 期:交接器很小中间没有连接; 3. 雄性交尾器 II 期:两内肢中间部位开始愈合; 4. 雄性交尾器 II 期:交尾器愈合部位容易被分开; 5~6. 雄性交尾器 III 期:交尾器愈合部位连接紧密,在外力下也不易被分开; 7~8. 纳精囊呈 V 字形,两侧的盘状的分开较宽; 9~10. 纳精囊的侧面盘状变宽并且侧面的边缘和中间的部分或完全重叠; 11~12. 纳精囊侧面的边缘和中间完全重叠,纳精囊发育完整并可以封闭精荚。

Plate

1. The petasma I stage; the first pair of pleopods are peduncle; 2. The petasma I stage; the petasma are still small without contact in the midline; 3. The petasma II stage; two halves of the petasma are large enough to partly connect; 4. The petasma II stage; two halves of the petasma are large enough to connect to each other, but separated easily by physical force; 5-6. The petasma III stage; two halves are firmly attached and can not separated easily by physical force; 7-8. Thelycum with lateral plates are widely separated and form a V-shaped notch in the middle; 9-10. The lateral plates of thelycum broaden and begin to partly or completely overlap with the lateral flanges of the median plate; 11-12. The lateral plates have thickened and intersect each other in the median line, and the thelycum can be impregnated with spermatophore.



图版

13 ~ 16. 雄性斑节对虾精巢小叶组织学: 精原细胞 (SG)、初级精母细胞 (PSC)、次级精母细胞 (SSC)、精子细胞 (ST)。

Plate

13 - 16. The testes histological structure of reared male *P. monodon*; spermatogonia. SG; primary spermatocyte. PSC; secondary spermatocyte. SSC; spermatid. ST.